

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан

Ю.Н. Рыжих

06

20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика прочности и экспериментальная механика

по направлению подготовки

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль) подготовки :

Промышленная и специальная робототехника

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2022

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.09.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Г.Р. Шрагер

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2022

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК-13 – Способен применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности.

– ПК-1 – Способность составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 12.1 Знать способы монтажа, наладки, настройки и требования ИОПК 13.1 Знать методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности.

ИОПК 13.2 Уметь применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности.

ИПК 1.1 Знать основные законы, описывающие функционирование проектируемых объектов.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить понятийный аппарат и терминологию применительно к процессам деформации и разрушению материалов в условиях активного нагружения, ползучести, релаксации напряжений и усталости.

– Научиться применять теоретические знания о процессах, протекающих в твердых телах при внешних воздействиях механической, термической и электрической природы для решения практических задач в области компьютерного проектирования аппаратов и машин, обеспечивая оптимальные режимы технологического процесса и необходимое качество готовой продукции.

– Научиться правильно подбирать материалы на основе анализа их свойств и структуры для решения практических профессиональной деятельности.

- Научиться использовать навыки интерпретации данных эксперимента в области физики прочности и экспериментальной механики для выявления природы показателей прочности и пластичности и их связи со структурой реальных твердых тел.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Пятый семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам:

1. Математика: основные понятия и методы математического анализа, теории вероятности, статистических методов обработки экспериментальных данных.
2. Физика: физические основы механики, молекулярная физика и термодинамика; электричество и магнетизм; оптика; атомная и ядерная физика.
3. Химия: химический состав материалов, полимеров, резины; процессы коррозии и методы борьбы с ними.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

-лекции: 30 ч.

-практические занятия: 30 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Кристаллическое строение твердых тел. Элементы кристаллографии.

Понятие о кристаллическом строении. Моно- и поликристаллы. Элементы кристаллографии. Индексирование плоскостей и направлений в кубической сингонии.

Тема 2. Природа межчастичной связи и упругости в кристаллах. Закон Гука.

Физическая природа связи в кристаллах. Ионные, ковалентные, молекулярные кристаллы. Металлическая связь. Энергия кристаллической решетки и природа упругих модулей.

Тема 3. Тепловые свойства твердых тел.

Твердое тело как совокупность гармонических осцилляторов. Классическая теория теплоемкости. Теория теплоемкости Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая. Фононы в твердом теле. Теплопроводность твердых тел. Тепловое расширение твердых тел.

Тема 4. Электронные свойства твердых тел.

Одноэлектронное приближение. Элементы зонной теории твердых тел. Статистика электронов в металле. Поверхность Ферми. Физические свойства электронного газа.

Тема 5. Проводимость и сверхпроводимость металлов.

Плотность тока. Природа проводимости металлов. Дрейфовая скорость. Длина свободного пробега. Явление сверхпроводимости. Куперовские электронные пары. Низко- и высокотемпературные сверхпроводники.

Тема 6. Уравнения диффузии.

Диффузионный поток в твердом теле. Коэффициент диффузии. Первое уравнение Фика. Второе уравнение Фика. Оценки диффузионных процессов.

Тема 7. Механизмы диффузии в твердых телах.

Атомные механизмы диффузии. Вычисление коэффициента диффузии. Температурная зависимость коэффициента диффузии. Диффузия в градиентных полях. Ускоренная диффузия.

Тема 8. Классификация дефектов кристаллической решетки.

Классификация дефектов. Вакансии, примесные атомы, комплексы точечных дефектов. Линейные дефекты (дислокации). Поверхностные дефекты. Границы зерен в металлах. Объемные дефекты (включения, поры). Коагуляция точечных дефектов по Пинесу и Френкелю.

Тема 9. Кинетика движения вакансий в кристаллах.

Подвижность вакансий. Источники и стоки вакансий. Свободная поверхность твердых тел.

Тема 10. Теоретическая сдвиговая прочность.
Сдвиг в идеальной решетке. Введение понятия дислокаций. Модель Френкеля-Конторовой. Оценка критического напряжения сдвига.

Тема 11. Геометрическое описание дислокаций.
Дислокация как незавершенный сдвиг. Геометрия дислокаций. Вектор Бюргерса. Типы дислокаций.

Тема 12. Характеристики дислокаций.
Ядро дислокаций. Дислокация как источник внутренних напряжений. Сила, действующая на дислокацию. Энергия дислокационной линии. Уравнение Тейлора-Орована.

Тема 13. Движение дислокаций.
Схема перемещения краевой дислокации. Рельеф Пайерлса-Набарро. Скольжение и переползание дислокаций.

Тема 14. Динамика дислокаций.
Зависимость скорости движения дислокаций в кристаллах от приложенного напряжения. Термически активированное движение дислокаций. Режим движения дислокаций в поле локальных препятствий.

Тема 15. Размножение дислокаций.
Плотность дислокаций. Механизм Франка-Рида. Дислокационные ансамбли и их эволюция в ходе деформации. Экспериментальные методы наблюдения дислокаций.

Тема 16. Деформационное упрочнение.
Диаграммы нагружения. Коэффициент деформационного упрочнения. Взаимодействие дислокаций как причина упрочнения. Теории деформационного упрочнения. Деформационное упрочнение моно- и поликристаллов.

Тема 17. Примесное упрочнение.
Природа примесного упрочнения. Схемы взаимодействия дислокаций и примесных выделений в разных состояниях. Механизм Орована. Старение сплавов. Взаимодействие примесей с дислокациями.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Основное изучение теоретического материала происходит на лекциях, самостоятельное углублённое освоение изложенного на лекциях теоретического материала, закрепление и расширение полученных знаний производится с использованием указанной основной и дополнительной учебной и научной литературы.

Закрепление теоретического материала, формирование умений и навыков решения практических задач происходит посредством внеаудиторного выполнения индивидуальных заданий.

Текущий контроль на занятиях производится путём частичного опроса обучающихся и разбора вызывающих трудность в понимании вопросов с использованием

активных и интерактивных форм обучения во время занятий. По результатам текущего контроля формируется допуск студента к итоговому контролю – зачету по дисциплине

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса (проверяющих ИОПК-13.1, ИОПК-13.2, ИПК-1.1). Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примеры билетов:

Билет No. 1.

1. Природа ионной связи.
2. Типы дислокаций в кристаллах.

Билет No. 2.

1. Теплопроводность твердых тел.
2. Точечные дефекты в кристаллах.

Билет No. 3.

1. Фононы в твердых телах.
2. Сила, действующая на дислокацию

Темы 1,2

Примерные вопросы:

1. В чем сущность кристаллического строения металлов?
2. Что такое элементарная ячейка?
3. Что такое монокристалл и поликристалл?
4. Какие типы кристаллических решеток вам известны?
5. Дайте определение сингонии.
6. Что такое аллотропия металлов?
7. Как обозначаются кристаллографические направления и плоскости в кубической сингонии?
8. Как обозначаются кристаллографические направления и плоскости в гексагональной сингонии?
9. Что называется энергией связи кристалла?
10. Запишите выражение для потенциала межатомных взаимодействий.
11. Какова классификация кристаллов по типу связи?
12. Перечислите постулаты М. Борна для ионной связи.
13. Что такое константа Маделунга?
14. Каков физический смысл модуля продольной упругости?

Тема 3.

1. Что такое теплоемкость?
2. Дайте определение теплопроводности твердых тел.
3. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье.
4. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности?
5. Что такое тепловое расширение?
6. Сформулируйте закон Дюлонга и Пти.
7. Какова температурная зависимость молярной теплоемкости?
8. В чем недостаток модели А. Эйнштейна в теории теплоемкости?
9. Сформулируйте основные предположения теории теплоемкости Дебая.
10. Что такое дебаевская частота и характеристическая дебаевская температура?
11. Что такое фонон?
12. Какие квазичастицы вам известны в физике твердого тела?

Темы 4, 5.

1. Что такое энергия Ферми?
2. Какая статистика пригодна для описания электронного газа?
3. Каково влияние температуры на распределение Ферми-Дирака?
4. Почему электроны при комнатной температуре не вносят существенного вклада в теплоемкость металла?
5. Оцените температуру, при которой теплоемкость решетки в металле сравнивается с электронной теплоемкостью.
6. Запишите выражение для полной теплоемкости металла.
7. В чем причина различия коэффициентов теплопроводности металлов и диэлектриков?
8. Чем определяется теплопроводность диэлектриков?
9. Дайте определение энергетической щели.
10. Что такое энергетические зоны?
11. В чем отличие между диэлектриками и металлами в зонной теории?
12. Что называется фотопроводимостью?
13. Что представляет собой поверхность Ферми?
14. Какова зонная структура полупроводников?
15. Что такое сверхпроводимость?

Тема 6, 7.

1. Что такое диффузия?
2. Объясните смысл понятия «диффузионная пара».
3. Запишите 1-е уравнение Фика.
4. Запишите 2-е уравнение Фика.
5. Каким образом можно оценить коэффициент диффузии?
6. Что такое вакансия?
7. Какие механизмы диффузии в твердых телах вам известны?
8. Что называется самодиффузией?
9. Запишите формулу для вычисления концентрации вакансий.
10. Что такое энергия активации диффузии?
11. Дайте определение диффузионной подвижности.
12. В чем заключается эффект Сорэ?
13. Что называется восходящей диффузией?

Темы 8, 9.

1. Что называется дефектом в кристалле?
2. Какие виды дефектов кристаллической решетки вам известны?
3. Дайте определение точечного дефекта.
4. Что такое одномерный дефект?
5. Что называется двумерным дефектом?
6. Дайте определение трехмерного дефекта.
7. Что называется дефектом Шоттки?
8. Что такое дефект Френкеля?
9. Где появляются вакансии в кристалле?
10. Как происходит «испарение» вакансий согласно модели Пинеса?
11. Что представляет собой свободная поверхность твердого тела?
12. Дайте определение ювенильной поверхности.

Темы 10, 11, 12.

1. Дайте понятие дислокации.

2. Запишите формулу для теоретической сдвиговой прочности.
3. Что представляет собой модель дислокации Френкеля-Конторовой?
4. Что называется краудионом?
5. Какие виды дислокаций вам известны?
6. Что такое экстраплоскость?
7. Дайте определение вектора Бюргерса.
8. Что такое плоскость скольжения?
9. Что представляет собой линия дислокации?
10. Запишите формулу для силы Пича-Келера, действующей на дислокацию.
11. Чему равна энергия дислокационной линии?
12. Запишите уравнение Тейлора-Орована.
13. Дайте определение плотности дислокаций.
14. Какое движение дислокаций называется консервативным?
15. В чем заключается дислокационный механизм пластической деформации?

Темы 13, 14, 15.

1. Что такое напряжение Пайерлса-Набарро?
2. Какое движение дислокаций называется неконсервативным?
3. Дайте понятие ядра дислокации.
4. Запишите формулу для термически активированного движения дислокаций.
5. Как работает источник Франка-Рида?
6. Какой механизм пластической деформации кристаллов называется двойникованием?
7. Какие экспериментальные методики наблюдения дислокаций вам известны?

Тема 16, 17.

1. Что такое деформационное упрочнение?
2. Дайте определение коэффициента деформационного упрочнения.
3. Какие стадии деформационного упрочнения характерны для монокристаллов?
4. На чем основана теория деформационного упрочнения Тейлора?
5. Какова концепция теории деформационного упрочнения Зегера?
6. Запишите соотношение Холла-Петча.
7. Каковы причины примесного упрочнения?
8. В чем заключается механизм упрочнения Орована?

б) Темы рефератов по дисциплине:

1. Напряжения и деформации. Виды напряженного состояния
2. Режимы механических испытаний. Активное нагружение, ползучесть, усталость и релаксация напряжений
4. Измерения микротвердости и нанотвердости
5. Микроскопические исследования деформированных и разрушенных материалов
6. Методы исследования быстропротекающих процессов деформации и разрушения
7. Подготовка монокристаллических образцов для исследования деформации
8. Поляризационно-оптический метод исследования напряжений
9. Голографическая интерферометрия
10. Спекл-интерферометрия
11. Акустические методы исследования деформаций
12. Элементы линейной механики разрушения
13. Карты пластической деформации

14. Стадийность процесса ползучести
15. Механизмы ползучести при низких температурах
16. Высокотемпературная ползучесть
17. Диффузионная ползучесть
18. Неупругая ползучесть
19. Разрушение при ползучести
20. Режимы усталостных испытаний
21. Мало- и многоцикловая усталость
22. Кривая Велера. Предел усталости (выносливости)
23. Характер разрушения при усталости
24. Влияние внешних факторов на усталость
25. О диагностике усталостного разрушения

в) Перечень требований для реферата: 1) Глубина и комплексность исследования, полнота освещения излагаемых вопросов; 2) Четкость построения, логическая последовательность изложения материала; 3) Убедительность аргументации, полнота, краткость и точность формулировок; 4) Тщательность, грамотность оформления текстовой и графической части работы; 5) Конкретность изложения, доказательность выводов.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Задания для самостоятельной работы студентов по дисциплине:

1. Для кристаллических структур P, Cu, W, Hg, α -Ti, Al, Si, NaCl, CuAu, AsGa, сфалерита (ZnS), пирита (FeS 2) провести анализ и записать ответы на вопросы:
 - a). Зарисовать элементарную ячейку и определить ее сингонию.
 - b). Определить число материальных частиц в элементарной ячейке.
 - c). Охарактеризовать тип элементарной ячейки Браве.
 - d). Определить координационное число.
2. Найти индексы плоскости, отсекающей по координатным осям заданные отрезки $-1/2$; ∞ ; $1/2$. Построить положение плоскости в кубической ячейке.
3. Построить плоскость с заданными индексами (112) в кубической ячейке.
4. Построить направление с заданными индексами [112] в кубической ячейке.
5. Вычислить значение энергии кристаллической решетки NaCl, если постоянная, характеризующая потенциал сил отталкивания, $n = 9,4$; постоянная Маделунга – 1,75. Постоянную решетки NaCl принять равной 2,81 Å.
6. Найти сжимаемость кристалла NaCl при 0 К, считая, что показатель экспоненты, определяющий величину сил отталкивания, $m = 9,4$. Постоянная Маделунга для NaCl равна 1,75.

7. Определить величину квазиимпульса фонона соответствующего частоте $\omega = 0,4 \cdot \omega_{\max}$. Усредненное значение скорости звука в кристалле $\langle v \rangle = 2000$ м/с, характеристическая температура Дебая $\theta_D = 150$ К. Дисперсией звуковых волн в кристалле пренебречь.
8. Определить скорость звука в кристалле поваренной соли, зная, что температура Дебая равна 1670 К и $a = 1,04$ Å.
9. Какова максимальная энергия фононов в кристалле свинца, если его характеристическая температура равна 94 К?
10. Удельная теплоемкость алюминия при 20 °С равна 896 Дж/(кг·К). Выполняется ли при этой температуре для него закон Дюлонга и Пти?
11. Показать, что при низких температурах коэффициенты термического расширения кристаллов стремятся к нулю.
12. Определить максимальную частоту собственных колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура золота $\theta_D = 180$ К.
13. Концентрация свободных электронов натрия $2,5 \cdot 10^{28}$ м⁻³. Определить температуру Ферми и скорость электронов на уровне Ферми.
14. Исходя из классической теории электропроводности металлов, определить среднюю кинетическую энергию электронов в металле, если отношение удельной теплопроводности λ к удельной проводимости σ равно $\lambda/\sigma = 6,7 \cdot 10^{-6}$ Вт²/К.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено». Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на этапе промежуточной аттестации, описание шкал оценивания:

Результат обучения	Форма контроля	Критерии оценивания	
		Не зачтено	Зачтено
<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - понятия о кристаллической структуре и дефектах кристаллического строения, их взаимодействии и роли в развитии процессов формоизменения. — механизмы деформационного и примесного упрочнения материалов и механизмы диффузии в твердых телах. - процессы, протекающие в твердых телах при 	Зачет	<p>Не выполнены задания, предусмотренные учебным планом. Обнаружено незнание основных сведений о кристаллической структуре и дефектах кристаллического строения, их взаимодействии</p> <p>Обнаружено неумение определять основные типы</p>	<p>Выполнены все задания, предусмотренные учебным планом. Продemonстрировано знание типов кристаллических решеток и дефектов кристаллического строения. Продemonстрированы способности применения теории деформационного упрочнения. Продemonстрировано умение анализировать изученный материал,</p>

<p>внешних воздействиях механической, термической и электрической природы.</p> <p>- свойства реальных твердых тел и типы структурных дефектов в процессах деформирования и разрушения.</p> <p>Уметь:</p> <p>- подбирать материалы на основе анализа их свойств и структуры для решения практических профессиональной деятельности.</p> <p>- интерпретировать данные эксперимента в области физики прочности и экспериментальной механики</p> <p>- выявлять природу показателей прочности и пластичности и их связь со структурой реальных твердых тел.</p>		<p>кристаллической решетки.</p> <p>Обнаружено отсутствие знаний о механизмах деформационного и примесного упрочнения материалов.</p> <p>Не раскрыто основное содержание учебного материала; обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала; допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов.</p>	<p>однако не все выводы носят аргументированный и доказательный характер; в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие содержание ответа; допущены один – два недочета при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию преподавателя; допущены ошибка или более двух недочетов при освещении второстепенных вопросов, которые легко исправляются по замечанию преподавателя.</p>
--	--	---	--

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22388>

С целью обеспечения успешного обучения студент должен готовиться к лекции, поскольку она является важнейшей формой организации учебного процесса и выполняет следующие учебные функции:

- знакомит с новым учебным материалом;
- разъясняет учебные элементы, трудные для понимания;
- систематизирует учебный материал;
- ориентирует в учебном процессе.

Подготовка к лекции заключается в следующем:

- внимательно прочитать материал предыдущей лекции;
- узнать тему предстоящей лекции (по тематическому плану, по информации лектора и т.п.);
- ознакомиться с учебным материалом по учебнику и учебным пособиям;
- осознать место изучаемой темы в своей профессиональной подготовке;
- записать вопросы, которые возможно будут заданы лектору на лекции.

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Зуев Л.Б. Физика прочности и экспериментальная механика: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Л.Б. Зуев, С.А. Баранникова - Новосибирск: Наука, 2011. – 348 с.
- Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: ГИФМЛ, 1963. 696 с.
- 2. Физическое металловедение (в 3-х томах). Под ред. Р.Кана. М.: Мир, Т.1. 1967, 333 с., Т.2. 1968, 490 с., Т.3. 1968, 484 с.
- Шьюмон П. Диффузия в твердых телах. М.: Metallurgia, 1966, 195 с.
- Фридель Ж. Дислокации. М.: Мир, 1967, 694 с.
- Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела (в 2-х томах) М.: Мир, Т.1. 1979, 422 с., Т.2. 1979, 399 с.
- Ермаков С.С. Физика металлов и дефекты кристаллического строения. Л., ЛГУ, 1989, 272 с.
- Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах. М.: Высшая школа, 1983, 144 с.
- б) дополнительная литература:
 - Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. М.: ГИФМЛ, 1958. 368 с.
 - Хирт Дж., Лоте И. Теория дислокаций. М.: Атомиздат, 1972, 599 с.
 - Шульце Г. Металлофизика. М.: Мир, 1971, 503 с.
 - Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972, 408 с.
 - Макклиток Ф., Аргон А. Деформация и разрушение металлов. М.: Мир, 1972, 443 с.
- в) ресурсы сети Интернет:
 - <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/6182/1/Popova%20LI-1-33-16-eui-Z.pdf>
Физика прочности и пластичности: Электронное учебное пособие / Попова Л.И., Болдырев Д.А. – ФГБОУ ВО “Тольяттинский государственный университет“, 2017. – 74 с.
 - https://pstu.ru/files/2/file/kafedra/mtf/kafedry/MTO/MU/Fizika_prochnosti_Kurs_lekciyi_Simov_YU.N..pdf?ysclid=19fi3lk82s193491814
Физика прочности и механические испытания материалов: Курс лекций / Симонов Ю.Н., Симонов М.Ю. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2020. – 199 с.
 - <https://urait.ru/book/fizika-prochnosti-i-mehanika-razrusheniya-509125?ysclid=19fiehwiqp776314372>
Физика прочности и механика разрушения : учебное пособие для вузов / М. А. Шилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 175 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15598-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/509125> (дата обращения: 19.10.2022).
 - http://www.nait.ru/journals/index.php?p_journal_id=14
Архив выпусков научно-технического журнала «Деформация и разрушение материалов».

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
 - Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

- Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) – <https://www.fedstat.ru/>
- Нанотехнологическое общество России - <http://rusnor.org/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Баранникова Светлана Александровна, доктор-физико-математических наук профессор, кафедра механики деформируемого твердого тела ФТФ ТГУ, профессор